Gravitația newtoniană și relativistă

Nicolae Sfetcu

2 februarie 2019

Sfetcu, Nicolae (2019). "Gravitația newtoniană și relativistă ", în *Telework*, DOI: 10.13140/RG.2.2.36460.41606, URL = https://www.telework.ro/ro/gravitatia-newtoniana-si-relativista/

Email: nicolae@sfetcu.com

Rezumat

Gravitația clasică newtoniană admite o descriere geometrică. Împreună cu relativitatea specială, aceasta permite o descriere euristică a teoriei relativității generale. Mișcarea inerțială din mecanica clasică este legată de geometria spațiului și timpului, practic de-a lungul unor geodezice în care liniile de univers sunt linii drepte în spațiu-timpul relativist. Conform relativității generale,

forţa de gravitaţie este o manifestare a geometriei locale spaţiu-timp. Relativitatea generală este o teorie metrică a gravitației. La baza ei sunt ecuațiile lui Einstein, care descriu relația dintre geometria unei varietăți patrudimensionale, pseudo-Riemanniene, reprezentând spațiu-timpul și energia-impulsul conținut în acel spațiu-timp. Gravitația corespunde schimbărilor în proprietățile spațiului și timpului, care, la rândul lor, modifică traseele obiectelor.

Cuvinte cheie: gravitația, gravitația newtoniană, relativitatea special, relativitatea generală

Abstract

Classical Newtonian gravity admits a geometric description. Together with special relativity, this allows for a heuristic description of general relativity. Inertial motion in classical mechanics is related to the geometry of space and time, basically along geodesics where world lines are straight lines in relativistic spacetime. According to general relativity, the gravitational force is a manifestation of the local space-time geometry. General relativity is a metric theory of gravity. At its base are Einstein's equations, which describe the relationship between the geometry of a four-dimensional, pseudo-Riemannian manifold representing space-time and the energy-momentum contained in that space-time. Gravity corresponds to changes in the properties of space and time, which in turn alter the paths of objects.

Keywords: gravity, Newtonian gravity, special relativity, general relativity

Gravitația newtoniană și relativistă

Gravitația clasică newtoniană admite o descriere geometrică. Împreună cu relativitatea specială, aceasta permite o descriere euristică a teoriei relativității generale (RG). Mișcarea inerțială din mecanica clasică este legată de geometria spațiului și timpului, practic de-a lungul unor geodezice în care liniile de univers sunt linii drepte în spațiu-timpul relativist. (Ehlers 1973)

Datorită principiului echivalenței între masele inerțială și gravitațională, când se ia în considerare și gravitația, nu este observată o distincție între mișcarea inerțială și cea sub influența gravitației. Aceasta permite definirea unei noi clase, a corpurilor în cădere liberă, definind o geometrie a spațiului și timpului prin o mișcare geodezică, care depinde de gradientul potețialului gravitațional. De aici s-a dedus teoria Newton-Cartan, o formula geometrică a gravitației newtoniene în spațiu-timp curbat folosind numai concept covariante. (Ehlers 1973) (Havas 1964)

Gravitația geometrică newtoniană este un caz limită a mecanicii relativiste speciale. Acolo unde gravitația poate fi neglijată, fizica este Lorentzian invariantă ca în relativitatea specială, mai degrabă decât galileian invariantă ca în mecanica clasică. (Giulini 2006)

Simetria lui Lorentz implică structure suplimentare prin conure luminoase care definesc o structură cauzală.[1] Împreună cu liniile de univers pentru corpurile în cădere liberă, conurile de lumină pot fi folosite pentru a reconstrue metrica semi-riemanniană a spațiu-timpului, cel puțin până la un factor scalar pozitiv, rezultând o structură (sau o geometrie) conformă.

Dacă se ia în considerare gravitația, liniile temporale drepte care definesc un cadru inertial fără gravitație sunt curbate, rezultând o schimbare în geometria spațiu-timp. (Schutz and Schutz 1985)

Timpul propriu măsurat cu ceasuri într-un camp gravitațional nu respect regulile relativității speciale (nu se măsoară prin metrica Minkowski), fiind necesară o geometrie mai generală, curbă, a spațiului, cu o metrică pseudo-riemanniană asociată în mod firesc cu un anumit tip de conexiune, conexiunea Levi-Civita, care satisfice principiule chivalenței și face spațiul local minkowskian. (Ehlers 1973)

[1]Pentru fiecare eveniment A, există un set de evenimente independente de observatori. care pot, înprincipiu, să influențeze sau să fie influențate de A prin intermediul unor semnale sau interacțiuni care nu trebuie să călătorească mai repede decât lumina și un set de evenimente pentru care o astfel de influență este imposibilă.

În noiembrie 1915, la Academia de Științe din Prusia, Einstein a prezentat ecuațiile de câmp[2] care include gravitația, care specifică modul în care geometria spațiului și a timpului este influențată de materie și radiație.

Conform RG, forţa de gravitaţie este o manifestare a geometriei locale spaţiu-timp. RG este o teorie metrică a gravitației. La baza ei sunt ecuațiilelui Einstein (b2), care descriu relația dintre geometria unei varietăți patrudimensionale, pseudo-Riemanniene, reprezentând spațiu-timpul și energia-impulsul conținut în acel spațiu-timp. Gravitația corespunde schimbărilor în proprietățile spațiului și timpului, care, la rândul lor, modifică traseele obiectelor. Curbura este cauzată de energia-impulsul materiei. Conform lui John Archibald Wheeler, spațiu-timpul spune materiei cum să se miște iar materia spune spațiu-timpului cum să se curbeze. (Wheeler 1990) Pentru câmpuri gravitaționale slabe și viteze mici în raport cu viteza luminii, previziunile teoriei converg spre cele ale legii gravitației universale a lui Newton.

RG prezintă covarianță generală (legile au aceeași formă în toate sistemele de coordonate) și nu conține structure geometrice invariabile (este independentă de diferitele câmpuri din spațiu-timp). Practic, în plan local este valabil principiul echivalenței, spațiu-timpul este Minkowskian, iar legile fizicii manifestă invarianța locală Lorentz. (Weinberg 1972)

În RG, materia și geometria trebuie să satisfacă ecuațiile lui Einstein. O soluție a acestor ecuații este un model de univers cu eventuale legi suplimentare care reglementează materia. Cele mai cunoscute soluții exacte sunt cele care corespund unui anumit tip de gaură neagră (GN) într-

[2]Ecuațiile de câmp Einstein:

$$G_{\mu\nu} \equiv R_{\mu\nu} - (1/2)Rg_{\mu\nu} = (8\pi G/c^4)T_{\mu\nu}$$

unde $G_{\mu\nu}$ este tensorul Einstein, o combinație specifică fără divergențe a tensorului Ricci $R_{\mu\nu}$și a metricii, iar $T_{\mu\nu}$ este tensorul energie-impuls. Constanta de proporționalitate poate fi fixate drept $k = 8\pi G/c^4$, cu G constanta gravitațională și c vitezaluminii. În vid, $R_{\mu\nu} = 0$.

un univers altfel gol (Chandrasekhar 1998) (soluția Schwarzschild, soluția Reissner-Nordström și metrica Kerr), cele care descriu un univers în expansiune (universurile Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker și de Sitter), universul Gödel (cu posibilitatea de a călători în timp), soluția Taub-NUT (un model de univers omogen dar anizotrop) și spațiul anti-de Sitter (evidențiat recent în contextual conjecturii Maldacena). (Hawking and Ellis 2008)

În gravitația newtoniană sursa gravitației este masa, iar în relativitatea specială masa face parte dintr-o cantitate mai general numită tensor energie-impuls care include atât densitatea energiei cât și a impulsului și stresul (presiunea și forfecarea). În RG, ecuația câmpului de gravitație se referă la acest tensor și la tensorul Ricci care descrie o anumită clasă de efecte de maree.

Există teorii alternative la RG construite pe aceleași premise, cu reguli și/sau constrângeri suplimentare, care conduc la ecuații de camp diferite (teorialui Whitehead, teoria Brans-Dicke, teleparalalelismul, gravitația f(R), teoria Einstein-Cartan, etc.).(Brans and Dicke 1961)

Bibliografie

Brans, C., and R. H. Dicke. 1961. "Mach's Principle and a Relativistic Theory of Gravitation." *Physical Review* 124 (3): 925–35. https://doi.org/10.1103/PhysRev.124.925.

Chandrasekhar, Subrahmanyan. 1998. *The Mathematical Theory of Black Holes*. Clarendon Press.

Ehlers, Jürgen. 1973. "Survey of General Relativity Theory." 1973. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-010-2639-0_1.

Giulini, D. 2006. "Algebraic and Geometric Structures in Special Relativity." In *Special Relativity*, 45–111. Lecture Notes in Physics. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-34523-X_4.

Havas, Peter. 1964. "Four-Dimensional Formulations of Newtonian Mechanics and Their Relation to the Special and the General Theory of Relativity." *Reviews of Modern Physics* 36 (4): 938–65. https://doi.org/10.1103/RevModPhys.36.938.

Hawking, S. W., and G. F. R. Ellis. 2008. *The Large Scale Structure of Space-Time*. 21. printing. Cambridge Monographs on Mathematical Physics. Cambridge: Cambridge Univ. Press.

Schutz, Bernard F., and Director Bernard F. Schutz. 1985. *A First Course in General Relativity*. Cambridge University Press.

Weinberg, Steven. 1972. *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity*. Wiley.

Wheeler, John Archibald. 1990. *A Journey Into Gravity and Spacetime*. Scientific American Library.